

Docket No.: 57810-085

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of : Customer Number: 20277
Masayuki HATA, et al. : Confirmation Number:
Serial No.: : Group Art Unit:
Filed: January 29, 2004 : Examiner:
For: SEMICONDUCTOR DEVICE AND METHOD OF FABRICATING THE SAME

**CLAIM OF PRIORITY AND
TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT**

Mail Stop CPD
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

In accordance with the provisions of 35 U.S.C. 119, Applicants hereby claim the priority of:

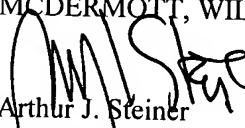
Japanese Patent Application No. JP 2003-031416, filed on February 7, 2003.

Japanese Patent Application No. JP 2003-339421, filed on September 30, 2003.

cited in the Declaration of the present application. Certified copies are submitted herewith.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT, WILL & EMERY


Arthur J. Steiner

Registration No. 26,106

600 13th Street, N.W.
Washington, DC 20005-3096
(202) 756-8000 AJS:gav
Facsimile: (202) 756-8087
Date: January 29, 2004

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE *McDermott, Will & Emery*

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2 0 0 3 年 9 月 3 0 日

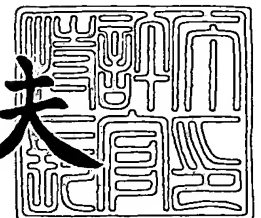
出 願 番 号
Application Number: 特 願 2 0 0 3 - 3 3 9 4 2 1
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 3 3 9 4 2 1]

出 願 人
Applicant(s): 三 洋 電 機 株 式 会 社

2 0 0 3 年 1 2 月 2 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願
【整理番号】 NPA1030068
【提出日】 平成15年 9月30日
【あて先】 特許庁長官 殿
【国際特許分類】 H01S 5/00
【発明者】
 【住所又は居所】 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三洋電機株式会社内
 【氏名】 畑 雅幸
【発明者】
 【住所又は居所】 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三洋電機株式会社内
 【氏名】 別所 靖之
【発明者】
 【住所又は居所】 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三洋電機株式会社内
 【氏名】 野村 康彦
【発明者】
 【住所又は居所】 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三洋電機株式会社内
 【氏名】 山口 勤
【特許出願人】
 【識別番号】 000001889
 【氏名又は名称】 三洋電機株式会社
 【代表者】 桑野 幸徳
【代理人】
 【識別番号】 100104433
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 宮園 博一
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 073613
 【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1
 【包括委任状番号】 0001887

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

導電性基板と、
前記導電性基板上に形成された第 1 窒化物系半導体層と、
前記第 1 窒化物系半導体層上に形成され、前記導電性基板の幅よりも小さい幅を有する活性層と、
前記活性層上に形成され、前記導電性基板の幅よりも小さい幅を有する平坦部と、前記平坦部から突出するように形成された前記活性層の幅よりも小さい幅を有する凸部とを含む第 2 窒化物系半導体層と、
前記第 2 窒化物系半導体層の凸部上に形成されたオーミック電極と、
前記凸部の側面、前記平坦部、および、前記第 1 窒化物系半導体層の表面を覆うように形成された絶縁膜と、
前記オーミック電極の上面と接触するように前記絶縁膜の一部上に形成され、前記導電性基板の幅よりも小さい幅を有するとともに、前記活性層の端部が位置する領域を越える領域にまで延びて形成された端部を有するパッド電極とを備えた、窒化物系半導体レーザー素子。

【請求項 2】

前記第 1 窒化物系半導体層は、第 1 導電型の第 1 窒化物系半導体層を含み、前記第 2 窒化物系半導体層は、第 2 導電型の第 2 窒化物系半導体層を含む、請求項 1 に記載の窒化物系半導体レーザー素子。

【請求項 3】

前記活性層の端部が位置する領域を越える領域にまで延びて形成された前記パッド電極の端部において、前記パッド電極は、外部と電氣的に接続されている、請求項 1 または 2 に記載の窒化物系半導体レーザー素子。

【請求項 4】

前記導電性基板は、転位の集中している領域を有しており、
前記導電性基板の幅よりも小さい幅を有する活性層は、前記導電性基板上の転位の集中している領域以外の領域に形成されている、請求項 1～3 のいずれか 1 項に記載の窒化物系半導体レーザー素子。

【請求項 5】

前記第 2 窒化物系半導体層の平坦部の幅は、前記活性層の幅と実質的に同じである、請求項 1～4 のいずれか 1 項に記載の窒化物系半導体レーザー素子。

【書類名】 明細書

【発明の名称】 窒化物系半導体レーザ素子

【技術分野】

【0001】

この発明は、窒化物系半導体レーザ素子に関し、特に、導電性基板上に複数の窒化物系半導体層が形成された窒化物系半導体レーザ素子に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、導電性基板上に、複数の窒化物系半導体層が形成された窒化物系半導体レーザ素子が知られている（たとえば、特許文献1参照）。上記特許文献1には、窒化物系半導体からなる導電性基板上に、n型窒化物系半導体各層、活性層およびp型窒化物系半導体各層が順次形成された窒化物系半導体レーザ素子が開示されている。この特許文献1では、窒化物系半導体からなる導電性基板を用いているため、サファイア基板などを用いる場合のように、格子定数差に起因して、基板上に形成される窒化物系半導体各層に格子欠陥が発生するのを抑制することが可能となる。また、サファイア基板などの固い基板に比べて、素子分離が容易であるという利点もある。

【特許文献1】 特開平11-4048号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

上記特許文献1に開示された構造を有する窒化物系半導体レーザ素子では、n型窒化物系半導体各層、活性層およびp型窒化物系半導体各層は、導電性基板の幅と同じ幅を有している。このため、活性層を介して形成されるn型窒化物系半導体層とp型窒化物系半導体層とのpn接合領域が大きくなるので、pn接合容量が増大するという不都合がある。その結果、窒化物系半導体レーザ素子の応答速度を高速化するのが困難であるという問題点がある。

【0004】

この発明は、上記のような課題を解決するためになされたものであり、この発明の1つの目的は、応答速度を高速化することが可能な窒化物系半導体レーザ素子を提供することである。

【課題を解決するための手段および発明の効果】

【0005】

上記目的を達成するために、この発明の一の局面による窒化物系半導体レーザ素子は、導電性基板と、導電性基板上に形成された第1窒化物系半導体層と、第1窒化物系半導体層上に形成され、導電性基板の幅よりも小さい幅を有する活性層と、活性層上に形成され、導電性基板の幅よりも小さい幅を有する平坦部と、平坦部から突出するように形成された活性層の幅よりも小さい幅を有する凸部とを含む第2窒化物系半導体層と、第2窒化物系半導体層の凸部上に形成されたオーミック電極と、凸部の側面、平坦部、および、第1窒化物系半導体層の表面を覆うように形成された絶縁膜と、オーミック電極の上面と接触するように絶縁膜の一部上に形成され、導電性基板の幅よりも小さい幅を有するとともに、活性層の端部が位置する領域を越える領域にまで延びて形成された端部を有するパッド電極とを備えている。

【0006】

この一の局面による窒化物系半導体レーザ素子では、上記のように、第1窒化物系半導体層上に形成される活性層の幅を導電性基板の幅よりも小さくするとともに、活性層上に形成される第2窒化物系半導体層の幅を導電性基板の幅よりも小さくすることによって、第1窒化物系半導体層が第1導電型であり、第2窒化物系半導体層が第2導電型である場合、活性層を介して形成される第1窒化物系半導体層と第2窒化物系半導体層とのpn接合領域が小さくなるので、第1窒化物系半導体層と第2窒化物系半導体層とによるpn接合容量を小さくすることができる。また、絶縁膜の一部上に形成されるパッド電極の幅を

、導電性基板の幅よりも小さくすることによって、パッド電極と、絶縁膜と、第1および第2窒化物系半導体層とにより形成される寄生容量も小さくすることができる。その結果、窒化物系半導体レーザ素子の応答速度を高速化することができる。また、パッド電極を、活性層の端部が位置する領域を越える領域にまで延びる端部を有するように構成することによって、パッド電極の幅を導電性基板の幅よりも小さくしたとしても、その活性層の端部が位置する領域を越えるパッド電極の端部において、外部と電氣的に接続することができる。これにより、パッド電極の幅を導電性基板の幅よりも小さくした場合にも、パッド電極と外部との接続が困難になることがない。また、活性層上に形成される第2窒化物系半導体層に、平坦部を設けることによって、第2窒化物系半導体層に活性層の幅よりも小さい幅を有する凸部を設けたとしても、平坦部により光の横方向の閉じ込めが強くなり過ぎるのを抑制することができるので、横モードを安定化させることができる。これにより、窒化物系半導体レーザ素子の発光特性が低下するのを抑制することができる。

【0007】

上記一の局面による窒化物系半導体レーザ素子において、好ましくは、第1窒化物系半導体層は、第1導電型の第1窒化物系半導体層を含み、第2窒化物系半導体層は、第2導電型の第2窒化物系半導体層を含む。

【0008】

上記一の局面による窒化物系半導体レーザ素子において、好ましくは、活性層の端部が位置する領域を越える領域にまで延びて形成されたパッド電極の端部において、パッド電極は、外部と電氣的に接続されている。このように構成すれば、パッド電極の幅を導電性基板の幅よりも小さくしたとしても、容易に、パッド電極を外部と電氣的に接続することができる。

【0009】

上記一の局面による窒化物系半導体レーザ素子において、好ましくは、導電性基板は、転位の集中している領域を有しており、導電性基板の幅よりも小さい幅を有する活性層は、導電性基板上の転位の集中している領域以外の領域に形成されている。このように構成すれば、活性層には転位の集中している領域が形成されないので、転位の集中している領域に電流が流れるのを抑制することができる。これにより、転位の集中している領域に電流が流れることに起因するリーク電流の発生を抑制することができる。また、転位の集中している領域に流れる電流を抑制することができるので、転位の集中している領域からの不必要な発光を抑制することができる。これにより、窒化物系半導体レーザ素子の動作を安定化させることができる。

【0010】

上記一の局面による窒化物系半導体レーザ素子において、好ましくは、第2窒化物系半導体層の平坦部の幅は、活性層の幅と実質的に同じである。このように構成すれば、第2窒化物系半導体層の平坦部の幅を活性層の幅よりも小さくする場合と異なり、第2窒化物系半導体層および活性層をエッチングによりパターンニングする際に、活性層の上面でエッチングを止める必要がないので、容易に、導電性基板の幅よりも小さい幅を有する活性層および第2窒化物系半導体層を形成することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0011】

以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。

【0012】

(第1実施形態)

図1は、本発明の第1実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の構造を示した平面図であり、図2は、図1の100-100線に沿った断面図である。図3は、図1および図2に示した第1実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の発光層の詳細を示した断面図である。まず、図1～図3を参照して、第1実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の構造について説明する。

【0013】

第1実施形態による窒化物系半導体レーザ素子10では、図2に示すように、約100 μm の厚みを有するとともに、約 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のキャリア濃度を有する酸素がドーピングされたn型GaN基板1上に、約100 nmの厚みを有するとともに、約 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のドーピング量を有するSiがドーピングされたn型GaNからなるn型層2が形成されている。なお、n型GaN基板1は、ウルツ鉱型構造を有するとともに、(0001)面の表面を有している。また、n型GaN基板1およびn型層2の両端部の近傍には、それぞれ、n型GaN基板1の裏面からn型層2の上面にまで延びるとともに、約10 μm の幅を有する転位の集中している領域1aがストライプ状(細長状)に形成されている。なお、n型GaN基板1は、本発明の「導電性基板」の一例である。

【0014】

ここで、第1実施形態では、n型層2の転位の集中している領域1a以外の領域上に、n型GaN基板1の幅よりも小さい幅D1(約7.5 μm)を有するn型クラッド層3、発光層4およびp型クラッド層5が順次形成されている。

【0015】

n型クラッド層3は、約400 nmの厚みを有するとともに、約 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のドーピング量および約 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のキャリア濃度を有するSiがドーピングされたn型Al_{0.05}Ga_{0.95}Nからなる。なお、n型クラッド層3は、本発明の「窒化物系半導体層」の一例である。

【0016】

また、発光層4は、図3に示すように、n型キャリアブロック層4aと、n型光ガイド層4bと、多重量子井戸構造を有するMQW(Multiple Quantum Well)活性層4eと、アンドープの光ガイド層4fと、p型キャップ層4gとによって構成されている。n型キャリアブロック層4aは、約5 nmの厚みを有するとともに、約 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のドーピング量および約 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のキャリア濃度を有するSiがドーピングされたn型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nからなる。n型光ガイド層4bは、約100 nmの厚みを有するとともに、約 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のドーピング量および約 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のキャリア濃度を有するSiがドーピングされたn型GaNからなる。また、MQW活性層4eは、約20 nmの厚みを有するアンドープIn_{0.05}Ga_{0.95}Nからなる4層の障壁層4cと、約3 nmの厚みを有するアンドープIn_{0.15}Ga_{0.85}Nからなる3層の井戸層4dとが交互に積層されている。なお、MQW活性層4eは、本発明の「活性層」の一例である。また、アンドープの光ガイド層4fは、約100 nmの厚みを有するアンドープGaNからなる。p型キャップ層4gは、約20 nmの厚みを有するとともに、約 $4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のドーピング量および約 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のキャリア濃度を有するMgがドーピングされたp型Al_{0.1}Ga_{0.9}Nからなる。

【0017】

また、図2に示すように、p型クラッド層5は、約 $4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のドーピング量および約 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のキャリア濃度を有するMgがドーピングされたp型Al_{0.05}Ga_{0.95}Nからなる。このp型クラッド層5は、平坦部5aと、平坦部5aの中央から上方に突出するように形成された凸部5bとを含んでいる。そして、p型クラッド層5の平坦部5aが、上記したn型GaN基板1の幅よりも小さく、かつ、発光層4の幅と同じ幅D1(約7.5 μm)を有するとともに、約100 nmの厚みを有している。また、p型クラッド層5の凸部5bは、発光層4の幅よりも小さい幅W(約1.5 μm)を有するとともに、平坦部5aの上面から約300 nmの突出高さを有している。なお、p型クラッド層5は、本発明の「第2窒化物系半導体層」の一例である。

【0018】

p型クラッド層5の凸部5b上には、約10 nmの厚みを有するとともに、約 $4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のドーピング量および約 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のキャリア濃度を有するMgがドーピングされたp型GaNからなるp型コンタクト層6が形成されている。そして、p型クラッド層5の凸部5bとp型コンタクト層6とによって、電流通路領域となるストライ

プ状（細長状）のリッジ部 7 が構成されている。また、リッジ部 7 を構成する p 型コンタクト層 6 上には、下層から上層に向かって、約 5 nm の厚みを有する Pt 層と、約 100 nm の厚みを有する Pd 層と、約 150 nm の厚みを有する Au 層とによって構成される p 側オーミック電極 8 が形成されている。なお、p 側オーミック電極 8 は、本発明の「オーミック電極」の一例である。また、p 側オーミック電極 8 の上面以外の領域を覆うように、約 250 nm の厚みを有する SiN 膜からなる絶縁膜 9 が形成されている。

【0019】

ここで、第 1 実施形態では、図 1 および図 2 に示すように、絶縁膜 9 の所定領域上に、p 側オーミック電極 8 の上面と接触するように、n 型 GaN 基板 1 の幅よりも小さい幅 B1（約 150 μ m）を有する p 側パッド電極 11 が形成されている。この p 側パッド電極 11 は、図 1 に示すように、平面的に見て、四角形状に形成されている。そして、p 側パッド電極 11 の一方の端部 11a は、発光層 4 の一方の端部 4h が位置する領域を越える領域にまで延びるように、n 型層 2 の上面上に位置する絶縁膜 9 上に形成されている。また、p 側パッド電極 11 の他方の端部 11b は、発光層 4 の他方の端部 4i が位置する領域を越える領域にまで延びるように、n 型クラッド層 3 の側面上に位置する絶縁膜 9 上に形成されている。なお、p 側パッド電極 11 の一方の端部 11a は、ワイヤボンディング可能な平坦面を有するように形成されている一方、p 側パッド電極 11 の他方の端部 11b は、ワイヤボンディング可能な平坦面は設けられていない。このため、p 側パッド電極 11 の他方の端部 11b は、一方の端部 11a に比べて、リッジ部 7 からの距離が小さい。また、p 側パッド電極 11 は、下層から上層に向かって、約 100 nm の厚みを有する Ti 層と、約 100 nm の厚みを有する Pd 層と、約 3 μ m の厚みを有する Au 層とによって構成されている。なお、p 側パッド電極 11 は、本発明の「パッド電極」の一例である。そして、p 側パッド電極 11 の一方の端部 11a 上には、p 側パッド電極 11 の一方の端部 11a と外部とを電氣的に接続するためのワイヤ 12 がボンディングされている。

【0020】

また、n 型 GaN 基板 1 の裏面の転位の集中している領域 1a 以外の領域上には、n 型 GaN 基板 1 の裏面に近い方から順に、約 10 nm の厚みを有する Al 層と、約 20 nm の厚みを有する Pt 層と、約 300 nm の厚みを有する Au 層とによって構成される n 側電極 13 が形成されている。

【0021】

図 4 は、図 1 および図 2 に示した第 1 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子を用いた半導体レーザの構造を示した斜視図である。次に、図 1、図 2 および図 4 を参照して、第 1 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子を用いた半導体レーザの構造について説明する。

【0022】

第 1 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子 10 を用いた半導体レーザは、図 4 に示すように、窒化物系半導体レーザ素子 10 が装着されるステム 21 と、気密封止するためのキャップ 22 とを備えている。ステム 21 には、3 本のリード 21a ~ 21c が設けられているとともに、3 本のリード 21a ~ 21c のうち、リード 21a および 21b は、ステム 21 の上面から突出している。また、ステム 21 の上面上には、ブロック 23 が設けられているとともに、ブロック 23 の側面上には、サブマウント 24 が設けられている。そして、このサブマウント 24 上に、第 1 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子 10 が装着されている。具体的には、レーザ光がステム 21 の上面に対して垂直な方向に出射されるように、窒化物系半導体レーザ素子 10 のへき開面がステム 21 の上面に対して平行に配置されている。また、窒化物系半導体レーザ素子 10 を構成する p 側パッド電極 11 の端部 11a（図 1 および図 2 参照）にボンディングされたワイヤ 12 は、リード 21a と電氣的に接続されている。また、ステム 21 の上面上の窒化物系半導体レーザ素子 10 のへき開面と対向する領域には、受光素子 25 が装着されている。この受光素子 25 には、ワイヤ 26 の一方端がボンディングされているとともに、そのワイヤ 26 の他方端は、リード 21b にボンディングされている。そして、キャップ 22 は、窒化物系半導体

レーザ素子 10 および受光素子 25 を覆うように、ステム 21 の上面上に溶接されている。

【0023】

第 1 実施形態では、上記のように、n 型クラッド層 3 上に形成される発光層 4 の幅 D1 (約 $7.5\mu\text{m}$) を n 型 GaN 基板 1 の幅よりも小さくするとともに、発光層 4 上に形成される p 型クラッド層 5 の幅を発光層 4 の幅と同じにすることによって、発光層 4 を介して形成される n 型クラッド層 3 と p 型クラッド層 5 との pn 接合領域が小さくなるので、pn 接合容量を小さくすることができる。また、絶縁膜 9 の所定領域上に形成される p 側パッド電極 11 の幅 B1 (約 $150\mu\text{m}$) を、n 型 GaN 基板 1 の幅よりも小さくすることによって、p 側パッド電極 11 と、絶縁膜 9 と、n 型層 2 とにより形成される寄生容量も小さくすることができる。その結果、窒化物系半導体レーザ素子 10 の応答速度を高速化することができる。

【0024】

また、第 1 実施形態では、p 側パッド電極 11 の端部 11a を、発光層 4 の一方の端部 4h が位置する領域を越える領域にまで延びるように、n 型層 2 の上面上に位置する絶縁膜 9 上に形成することによって、p 側パッド電極 11 の幅 B1 (約 $150\mu\text{m}$) を n 型 GaN 基板 1 の幅よりも小さくしたとしても、発光層 4 の一方の端部 4h が位置する領域を越える p 側パッド電極 11 の一方の端部 11a において、リード 21a と電氣的に接続することができる。これにより、p 側パッド電極 11 の幅 B1 (約 $150\mu\text{m}$) を n 型 GaN 基板 1 の幅よりも小さくした場合にも、p 側パッド電極 11 とリード 21a との接続が困難になることがない。また、発光層 4 上に形成される p 型クラッド層 5 に平坦部 5a を設けることによって、p 型クラッド層 5 に発光層 4 の幅よりも小さい幅 W (約 $1.5\mu\text{m}$) を有する凸部 5b を設けたとしても、平坦部 5a により光の横方向の閉じ込めが強くなり過ぎるのを抑制することができるので、横モードを安定化させることができる。これにより、窒化物系半導体レーザ素子 10 の発光特性が低下するのを抑制することができる。

【0025】

また、第 1 実施形態では、n 型層 2 の転位の集中している領域 1a 以外の領域上に、n 型クラッド層 3、発光層 4 および p 型クラッド層 5 を形成することによって、n 型クラッド層 3、発光層 4 および p 型クラッド層 5 には転位の集中している領域 1a が形成されないのので、転位の集中している領域 1a に電流が流れるのを抑制することができる。これにより、転位の集中している領域 1a に電流が流れることに起因するリーク電流の発生を抑制することができる。また、転位の集中している領域 1a に流れる電流を抑制することができるので、転位の集中している領域 1a からの不必要な発光を低減することができる。これにより、窒化物系半導体レーザ素子 10 の動作を安定化させることができる。

【0026】

図 5～図 17 は、図 1 および図 2 に示した第 1 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。次に、図 1～図 3 および図 5～図 17 を参照して、第 1 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスについて説明する。

【0027】

まず、図 5～図 8 を参照して、n 型 GaN 基板 1 (図 1 参照) の形成プロセスについて説明する。図 5 に示すように、MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition: 有機金属気相堆積) 法を用いて、基板温度を約 600°C に保持した状態で、サファイア基板 31 上に、約 20nm の厚みを有する AlGaIn 層 32 を成長させる。その後、基板温度を約 1100°C に変えて、AlGaIn 層 32 上に、約 $1\mu\text{m}$ の厚みを有する GaN 層 33 を成長させる。この際、GaN 層 33 の全領域に、縦方向に伝播された転位が、約 $5 \times 10^8\text{ cm}^{-2}$ 以上 (たとえば、約 $5 \times 10^9\text{ cm}^{-2}$) の密度で形成される。

【0028】

次に、図 6 に示すように、プラズマ CVD 法を用いて、GaN 層 33 上に、約 $10\mu\text{m}$

の間隔を隔てて、約 $390\text{ }\mu\text{m}$ の幅と約 200 nm の厚みとを有する SiN または SiO_2 からなるマスク層 34 を、約 $400\text{ }\mu\text{m}$ の周期でストライプ状（細長状）に形成する。

【0029】

次に、図 7 に示すように、HVPE（Halide Vapor Phase Epitaxy：ハライド気相成長）法を用いて、基板温度を約 1100°C に保持した状態で、マスク層 34 を選択成長マスクとして、GaN 層 33 上に、約 $150\text{ }\mu\text{m}$ の厚みを有するとともに、約 $5 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ のキャリア濃度を有する酸素がドーピングされた n 型 GaN 層 1b を横方向成長させる。この際、n 型 GaN 層 1b は、マスク層 34 が形成されていない GaN 層 33 上に選択的に縦方向に成長した後、徐々に横方向に成長する。このため、GaN 層 33 上のマスク層 34 が形成されていない領域に位置する n 型 GaN 層 1b には、約 $5 \times 10^8\text{ cm}^{-2}$ 以上（たとえば、約 $5 \times 10^9\text{ cm}^{-2}$ ）の密度で縦方向に伝播された転位の集中している領域 1a が、約 $10\text{ }\mu\text{m}$ の幅でストライプ状（細長状）に形成される。その一方、マスク層 34 上に位置する n 型 GaN 層 1b には、n 型 GaN 層 1b が横方向に成長することにより転位が横方向へ曲げられるので、縦方向に伝播された転位が形成されにくく、転位密度は、約 $5 \times 10^7\text{ cm}^{-2}$ 以下（たとえば、約 $1 \times 10^6\text{ cm}^{-2}$ ）である。この後、n 型 GaN 層 1b のマスク層 34 よりも下方の領域（サファイア基板 31 など）を除去することによって、図 8 に示されるような、約 $5 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ のキャリア濃度を有する酸素がドーピングされた n 型 GaN（0001）Ga 面基板 1 が形成される。

【0030】

次に、上記のようにして形成した n 型 GaN（0001）Ga 面基板 1（以下、n 型 GaN 基板 1 という）上に、図 9 に示すように、MOCVD 法を用いて、n 型層 2、n 型クラッド層 3、発光層 4、p 型クラッド層 5 および p 型コンタクト層 6 を順次成長させる。

【0031】

具体的には、基板温度を約 1100°C の成長温度に保持した状態で、 H_2 および N_2 からなるキャリアガスと、 NH_3 および TMGa（トリメチルガリウム）からなる原料ガスと、 SiH_4 からなるドーパントガスとを用いて、n 型 GaN 基板 1 上に、約 100 nm の厚みを有するとともに、約 $5 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ のドーピング量を有する Si がドーピングされた n 型 GaN からなる n 型層 2 を成長させる。この後、原料ガスに TMAI（トリメチルアルミニウム）をさらに加えて、n 型層 2 上に、約 400 nm の厚みを有するとともに、約 $5 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ のドーピング量および約 $5 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ のキャリア濃度を有する Si がドーピングされた n 型 $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ からなる n 型クラッド層 3 を成長させる。次に、n 型クラッド層 3 上に、図 3 に示したような構造を有する発光層 4 を成長させる。

【0032】

具体的には、n 型クラッド層 3 の形成に続いて、n 型クラッド層 3 上に、約 5 nm の厚みを有するとともに、約 $5 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ のドーピング量および約 $5 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ のキャリア濃度を有する Si がドーピングされた n 型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ からなる n 型キャリアブロック層 4a（図 3 参照）を成長させる。

【0033】

次に、基板温度を約 800°C の成長温度に保持した状態で、 H_2 および N_2 からなるキャリアガスと、 NH_3 および TMGa からなる原料ガスと、 SiH_4 からなるドーパントガスとを用いて、n 型キャリアブロック層 4a 上に、約 100 nm の厚みを有するとともに、約 $5 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ のドーピング量および約 $5 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ のキャリア濃度を有する Si がドーピングされた n 型 GaN からなる n 型光ガイド層 4b を成長させる。

【0034】

この後、原料ガスに TMI n（トリメチルインジウム）をさらに加えるとともに、ドーパントガスを用いなくて、n 型光ガイド層 4b 上に、約 20 nm の厚みを有するアンドープ $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ からなる 4 層の障壁層 4c と、約 3 nm の厚みを有するアンドープ $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ からなる 3 層の井戸層 4d とを交互に成長させるこ

とによりMQW活性層4eを形成する。

【0035】

そして、原料ガスを NH_3 および TMGa に変えて、MQW活性層4e（障壁層4c）上に、約100nmの厚みを有するアンドープ GaN からなるアンドープの光ガイド層4fを成長させる。この後、原料ガスに TMAI をさらに加えるとともに、 Cp_2Mg からなるドーパントガスを用いて、アンドープの光ガイド層4f上に、約20nmの厚みを有するとともに、約 $4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のドーピング量および約 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のキャリア濃度を有する Mg がドーピングされたp型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ からなるp型キャップ層4gを成長させる。これにより、n型キャリアブロック層4a、n型光ガイド層4b、MQW活性層4e、アンドープの光ガイド層4fおよびp型キャップ層4gからなる発光層4が形成される。

【0036】

次に、図9に示すように、基板温度を約1100℃の成長温度に保持した状態で、 H_2 および N_2 からなるキャリアガスと、 NH_3 、 TMGa および TMAI からなる原料ガスと、 Cp_2Mg からなるドーパントガスとを用いて、発光層4上に、約400nmの厚みを有するとともに、約 $4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のドーピング量および約 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のキャリア濃度を有する Mg がドーピングされたp型 $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ からなるp型クラッド層5を成長させる。この後、原料ガスを NH_3 および TMGa に変えて、p型クラッド層5上に、約10nmの厚みを有するとともに、約 $4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のドーピング量および約 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のキャリア濃度を有する Mg がドーピングされたp型 GaN からなるp型コンタクト層6を成長させる。

【0037】

上記のように、n型 GaN 基板1上に、n型層2、n型クラッド層3、発光層4、p型クラッド層5およびp型コンタクト層6を成長させる際に、n型 GaN 基板1の転位が伝播することにより、n型 GaN 基板1の裏面からp型コンタクト層6の上面にまで延びる転位の集中している領域1aが形成される。

【0038】

この後、窒素ガス雰囲気中で、約800℃の温度条件下でアニール処理する。

【0039】

次に、図10に示すように、真空蒸着法を用いて、p型コンタクト層6上の所定領域に、下層から上層に向かって、約5nmの厚みを有する Pt 層と、約100nmの厚みを有する Pd 層と、約150nmの厚みを有する Au 層とによって構成されるp側オーミック電極8を形成した後、p側オーミック電極8上に、約250nmの厚みを有する Ni 層35を形成する。この際、p側オーミック電極8および Ni 層35が、約1.5μmの幅Wを有するストライプ状（細長状）になるように形成する。

【0040】

次に、図11に示すように、 Cl_2 系ガスによるドライエッチングを用いて、 Ni 層35をマスクとして、p型コンタクト層6およびp型クラッド層5の上面から約300nmの厚み分をエッチングする。これにより、p型コンタクト層6がパターンニングされるとともに、p型クラッド層5に平坦部5aと凸部5bとが形成される。また、約1.5μmの幅Wを有するとともに、p型クラッド層5の凸部5bとp型コンタクト層6とによって構成されるストライプ状（細長状）のリッジ部7が形成される。この後、 Ni 層35を除去する。

【0041】

次に、図12に示すように、p型クラッド層5の平坦部5a上の転位の集中している領域1a以外の領域に、p側オーミック電極8およびリッジ部7を覆うように、約7.5μmの幅D1を有するレジスト36を形成する。

【0042】

次に、図13に示すように、レジスト36をマスクとして、p型クラッド層5の平坦部5aの上面から発光層4およびn型クラッド層3までをエッチングする。これにより、n

型クラッド層3、発光層4およびp型クラッド層5の転位の集中している領域1aが除去されるとともに、n型クラッド層3、発光層4およびp型クラッド層5（平坦部5a）の幅が、それぞれ、n型Ga_{0.5}N基板1の幅よりも小さい幅D1（約7.5μm）となる。なお、p型クラッド層5の平坦部5aと発光層4とが同じ幅D1（約7.5μm）になるようにエッチングすることによって、p型クラッド層5の平坦部5aの幅を発光層4の幅よりも小さくする場合と異なり、発光層4の上面でエッチングを止める必要がないので、容易に、n型Ga_{0.5}N基板1の幅よりも小さい幅D1（約7.5μm）を有する発光層4およびp型クラッド層5を形成することができる。この後、レジスト36を除去する。

【0043】

次に、図14に示すように、プラズマCVD法を用いて、全面を覆うように、約250nmの厚みを有するSi₃N₄膜（図示せず）を形成した後、そのSi₃N₄膜上の所定領域にレジスト37を形成する。そして、レジスト37をマスクとして、p側オーミック電極8の上面上に位置するSi₃N₄膜を除去することによって、約250nmの厚みを有するSi₃N₄膜からなる絶縁膜9を形成する。この後、レジスト37を除去する。

【0044】

次に、図15に示すように、n型層2の上面上に位置する絶縁膜9上に、約150μmの間隔B1を隔ててレジスト38を形成する。この際、発光層4の一方の端部4h側に位置するレジスト38を、発光層4の一方の端部4hが位置する領域から所定量離れた領域に形成する。また、発光層4の他方の端部4i側に位置するレジスト38を、発光層4の他方の端部4iが位置する領域の近傍の領域に形成する。この後、真空蒸着法を用いて、全面を覆うように、下層から上層に向かって、約100nmの厚みを有するTi層と、約100nmの厚みを有するPd層と、約3μmの厚みを有するAu層とを形成することによって、p側パッド電極11を構成する金属層を形成する。次に、レジスト38を除去することによって、レジスト38上に位置する金属層をリフトオフする。これにより、p側パッド電極11の一方の端部11aを、発光層4の一方の端部4hが位置する領域を越える領域にまで延びるように、n型層2の上面上に位置する絶縁膜9上に形成する。また、p側パッド電極11の他方の端部11bを、発光層4の他方の端部4iが位置する領域を越える領域にまで延びるように、n型クラッド層3の側面上に位置する絶縁膜9上に形成する。また、p側パッド電極11の幅は、n型Ga_{0.5}N基板1の幅よりも小さい幅B1（約150μm）となる。

【0045】

次に、図16に示すように、真空蒸着法を用いて、n型Ga_{0.5}N基板1の裏面上に、n型Ga_{0.5}N基板1の裏面に近い方から順に、約10nmの厚みを有するAl層と、約20nmの厚みを有するPt層と、約300nmの厚みを有するAu層とによって構成されるn側電極13を形成する。

【0046】

最後に、図1および図2に示したように、p側パッド電極11の一方の端部11a上に、p側パッド電極11の一方の端部11aと外部とを電気的に接続するためのワイヤ12をボンディングする。このようにして、第1実施形態による窒化物系半導体レーザ素子が形成される。

【0047】

（第2実施形態）

図17は、本発明の第2実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の構造を示した平面図であり、図18は、図17の200-200線に沿った断面図である。図17および図18を参照して、この第2実施形態では、上記第1実施形態と異なり、n型Ga_{0.5}N基板の幅と同じ幅を有するn型クラッド層上に、n型Ga_{0.5}N基板よりも小さい幅を有する発光層およびp型クラッド層を順次形成する場合の例について説明する。

【0048】

すなわち、この第2実施形態による窒化物系半導体レーザ素子40では、図18に示すように、上記第1実施形態と同様、n型Ga_{0.5}N基板1上に、n型層2が形成されている。

n 型層 2 上には、n 型 GaN 基板 1 の幅と同じ幅を有するとともに、上記第 1 実施形態の n 型クラッド層 3 と同様の厚みおよび組成を有する n 型クラッド層 4 3 が形成されている。また、n 型 GaN 基板 1、n 型層 2 および n 型クラッド層 4 3 の両端部の近傍には、それぞれ、n 型 GaN 基板 1 の裏面から n 型クラッド層 4 3 の上面にまで延びる転位の集中している領域 1 a が形成されている。なお、n 型クラッド層 4 3 は、本発明の「第 1 窒化物系半導体層」の一例である。

【0049】

ここで、第 2 実施形態では、n 型クラッド層 4 3 の転位の集中している領域 1 a 以外の領域上に、n 型 GaN 基板 1 の幅よりも小さい幅 D 2 (約 $4.5 \mu\text{m}$) を有する発光層 4 4 および p 型クラッド層 4 5 が順次形成されている。この発光層 4 4 は、図 3 に示した第 1 実施形態の発光層 4 と同様の構成を有している。また、p 型クラッド層 4 5 は、上記第 1 実施形態の p 型クラッド層 5 と同様の厚みおよび組成を有するとともに、上記第 1 実施形態の p 型クラッド層 5 と同様の平坦部 4 5 a および凸部 4 5 b を含んでいる。そして、p 型クラッド層 4 5 の平坦部 4 5 a が、上記した n 型 GaN 基板 1 の幅よりも小さい幅 D 2 (約 $4.5 \mu\text{m}$) を有するとともに、p 型クラッド層 4 5 の凸部 4 5 b は、発光層 4 4 の幅よりも小さい幅 W (約 $1.5 \mu\text{m}$) を有している。なお、p 型クラッド層 4 5 は、本発明の「第 2 窒化物系半導体層」の一例である。

【0050】

p 型クラッド層 4 5 の凸部 4 5 b 上には、上記第 1 実施形態の p 型コンタクト層 6 と同様の厚みおよび組成を有する p 型コンタクト層 4 6 が形成されているとともに、p 型クラッド層 4 5 の凸部 4 5 b と p 型コンタクト層 4 6 とによってリッジ部 4 7 が構成されている。また、リッジ部 4 7 を構成する p 型コンタクト層 4 6 上には、p 側オーミック電極 8 が形成されている。そして、p 側オーミック電極 8 の上面以外の領域を覆うように、上記第 1 実施形態の絶縁膜 9 と同様の厚みおよび組成を有する絶縁膜 4 9 が形成されている。

【0051】

ここで、第 2 実施形態では、図 17 および図 18 に示すように、絶縁膜 4 9 の所定領域上に、p 側オーミック電極 8 の上面と接触するように、n 型 GaN 基板 1 の幅よりも小さい幅 B 2 (約 $250 \mu\text{m}$) を有する p 側パッド電極 5 1 が形成されている。この p 側パッド電極 5 1 は、図 17 に示すように、平面的に見て、四角形状に形成されている。そして、p 側パッド電極 5 1 の一方の端部 5 1 a および他方の端部 5 1 b は、それぞれ、発光層 4 4 の一方の端部 4 4 h および他方の端部 4 4 i が位置する領域を越える領域にまで延びるように、n 型クラッド層 4 3 の上面上に位置する絶縁膜 4 9 上に形成されている。また、p 側パッド電極 5 1 の一方の端部 5 1 a および他方の端部 5 1 b は、第 1 実施形態の p 側パッド電極 1 1 と異なり、リッジ部 4 7 の中心に対して左右対称に配置されている。なお、第 2 実施形態の p 側パッド電極 5 1 の厚みおよび組成は、上記第 1 実施形態の p 側パッド電極 1 1 と同様である。なお、p 側パッド電極 5 1 は、本発明の「パッド電極」の一例である。そして、p 側パッド電極 5 1 の一方の端部 5 1 a 上には、p 側パッド電極 5 1 の一方の端部 5 1 a と外部とを電氣的に接続するためのワイヤ 1 2 がボンディングされている。

【0052】

そして、n 型 GaN 基板 1 の裏面の転位の集中している領域 1 a 上には、約 250 nm の厚みと約 $40 \mu\text{m}$ の幅とを有する SiO_2 膜からなる絶縁膜 5 4 が形成されている。また、n 型 GaN 基板 1 の裏面上には、絶縁膜 5 4 を覆うように、上記第 1 実施形態の n 側電極 1 3 と同様の厚みおよび組成を有する n 側電極 5 3 が形成されている。

【0053】

第 2 実施形態では、上記のように、n 型クラッド層 4 3 上に形成される発光層 4 4 の幅 D 2 (約 $4.5 \mu\text{m}$) を n 型 GaN 基板 1 の幅よりも小さくするとともに、発光層 4 4 上に形成される p 型クラッド層 4 5 の幅を発光層 4 4 の幅と同じにすることによって、n 型クラッド層 4 3 の幅が n 型 GaN 基板 1 の幅と同じである場合においても、発光層 4 4 を介して形成される n 型クラッド層 4 3 と p 型クラッド層 4 5 との p n 接合領域が小さくな

るので、pn接合容量を小さくすることができる。また、絶縁膜49の所定領域上に形成されるp側パッド電極51の幅B2(約 $250\mu\text{m}$)を、n型GaN基板1の幅よりも小さくすることによって、p側パッド電極51と、絶縁膜49と、n型クラッド層43とにより形成される寄生容量も小さくすることができる。その結果、上記第1実施形態と同様、窒化物系半導体レーザ素子40の応答速度を高速化することができる。また、第2実施形態では、n型GaN基板1の幅と同じ幅を有するn型クラッド層43上に、n型クラッド層43の幅よりも小さい幅(n型GaN基板1の幅よりも小さい幅D2(約 $4.5\mu\text{m}$))を有する発光層44を形成することによって、容易に、発光層44を介して形成されるn型クラッド層43とp型クラッド層45とのpn接合領域を小さくすることができる。

【0054】

また、第2実施形態では、n型GaN基板1の裏面の転位の集中している領域1a上に絶縁膜54を形成するとともに、その絶縁膜54を覆うようにn側電極53を形成することによって、n型GaN基板1の裏面の転位の集中している領域1aとn側電極53とが接触しないので、転位の集中している領域1aに流れる電流をより抑制することができる。

【0055】

なお、第2実施形態のその他の効果は、上記第1実施形態と同様である。

【0056】

なお、第2実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスとしては、まず、図5～図11に示した第1実施形態と同様の製造プロセスを用いて、図18に示したリッジ部47までを形成する。

【0057】

この後、図12に示した第1実施形態の製造プロセスと同様のプロセスを用いてレジストを形成する際、この第2実施形態では、約 $4.5\mu\text{m}$ の幅を有するレジスト(図示せず)を形成する。そして、図13に示した第1実施形態の製造プロセスと同様のプロセスを用いてエッチングする際、この第2実施形態では、レジストをマスクとして、p型クラッド層45の平坦部45aの上面から発光層44までをエッチングする。これにより、第2実施形態では、発光層44およびp型クラッド層45の転位の集中している領域1aが除去されるとともに、発光層44およびp型クラッド層45(平坦部45a)の幅が、それぞれ、n型GaN基板1の幅よりも小さい幅D2(約 $4.5\mu\text{m}$)となる。この後、図14に示した第1実施形態と同様の製造プロセスを用いて、絶縁膜49を形成する。

【0058】

次に、第2実施形態では、図18に示したような形状を有するp側パッド電極51を形成する。p側パッド電極51の一方の端部51aおよび他方の端部51bは、それぞれ、発光層44の一方の端部44hおよび他方の端部44iが位置する領域を越える領域にまで延びるとともに、リッジ部47の中心に対して左右対称になるように形成する。また、p側パッド電極51の幅は、n型GaN基板1の幅よりも小さい幅B2(約 $250\mu\text{m}$)となるようにパターンニングする。

【0059】

次に、プラズマCVD法、SOG(スピノンガラス)法(塗布法)、または、電子ビーム蒸着法を用いて、n型GaN基板1の裏面上の全面に、 SiO_2 膜(図示せず)を形成した後、n型GaN基板1の裏面の転位の集中している領域1a以外の領域上に位置する SiO_2 膜を除去することによって、図18に示した SiO_2 膜からなる絶縁膜54を形成する。この後、真空蒸着法を用いて、n型GaN基板1の裏面上に、絶縁膜54を覆うように、n側電極53を形成する。

【0060】

最後に、第2実施形態では、p側パッド電極51の一方の端部51a上に、p側パッド電極51の一方の端部51aと外部とを電氣的に接続するためのワイヤ12をボンディングする。このようにして、第2実施形態による窒化物系半導体レーザ素子が形成される。

【0061】

(第3実施形態)

図19は、本発明の第3実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の構造を示した平面図であり、図20は、図19の300-300線に沿った断面図である。図21は、図19および図20に示した第3実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の発光層の詳細を示した断面図である。図19～図21を参照して、この第3実施形態では、上記第1および第2実施形態と異なり、n型GaN基板上に順次形成されるn型層、n型クラッド層、発光層、p型クラッド層のすべてが、n型GaN基板よりも小さい幅を有する場合の例について説明する。

【0062】

すなわち、この第3実施形態による窒化物系半導体レーザ素子60では、図20に示すように、n型GaN基板1の転位の集中している領域1a以外の領域上に、n型GaN基板1の幅よりも小さい幅D3(約10.5 μ m)を有するn型層62、n型クラッド層63、発光層64およびp型クラッド層65が順次形成されている。また、n型GaN基板1の転位の集中している領域1a上には、後述する製造プロセスにおいて、選択成長マスクとして用いる約100nmの厚みを有するSiN膜74が形成されている。

【0063】

n型層62は、上記第1実施形態のn型層2と同様、約100nmの厚みを有するとともに、約 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のドーピング量を有するSiがドーピングされたn型GaNからなる。また、n型クラッド層63は、約400nmの厚みを有するとともに、約 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のドーピング量および約 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のキャリア濃度を有するSiがドーピングされたn型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nからなる。なお、n型クラッド層63は、本発明の「第1窒化物系半導体層」の一例である。

【0064】

また、発光層64は、図21に示すように、n型キャリアブロック層64aと、n型光ガイド層64bと、MQW活性層64eと、p型光ガイド層64fと、p型キャップ層64gとによって構成されている。n型キャリアブロック層64aは、約5nmの厚みを有するとともに、約 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のドーピング量および約 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のキャリア濃度を有するSiがドーピングされたn型Al_{0.25}Ga_{0.75}Nからなる。n型光ガイド層64bは、約100nmの厚みを有するとともに、約 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のドーピング量および約 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のキャリア濃度を有するSiがドーピングされたn型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nからなる。また、MQW活性層64eは、約20nmの厚みを有するアンドープAl_{0.2}Ga_{0.8}Nからなる4層の障壁層64cと、約3nmの厚みを有するアンドープAl_{0.05}In_{0.02}Ga_{0.93}Nからなる3層の井戸層64dとが交互に積層されている。なお、MQW活性層64eは、本発明の「活性層」の一例である。また、p型光ガイド層64fは、約100nmの厚みを有するとともに、約 $4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のドーピング量および約 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のキャリア濃度を有するMgがドーピングされたp型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nからなる。p型キャップ層64gは、約20nmの厚みを有するとともに、約 $4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のドーピング量および約 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のキャリア濃度を有するMgがドーピングされたp型Al_{0.25}Ga_{0.75}Nからなる。

【0065】

また、図20に示すように、p型クラッド層65は、約 $4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のドーピング量および約 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のキャリア濃度を有するMgがドーピングされたp型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nからなる。このp型クラッド層65は、平坦部65aおよび凸部65bを含んでいる。そして、p型クラッド層65の平坦部65aが、上記したn型GaN基板1の幅よりも小さい幅D3(約10.5 μ m)を有する。また、p型クラッド層65の凸部65bは、発光層64の幅よりも小さい幅W(約1.5 μ m)を有するとともに、約300nmの平坦部65aの上面からの突出高さを有する。なお、p型クラッド層65は、本発明の「第2窒化物系半導体層」の一例である。

【0066】

p型クラッド層65の凸部65b上には、p型コンタクト層66が形成されているとともに、p型クラッド層65の凸部とp型コンタクト層66とによってリッジ部67が構成されている。このp型コンタクト層66は、上記第1実施形態のp型コンタクト層6と同様、約10nmの厚みを有するとともに、約 $4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のドーピング量および約 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のキャリア濃度を有するMgがドーピングされたp型GaNからなる。また、リッジ部67を構成するp型コンタクト層66上には、p側オーミック電極8が形成されている。そして、p側オーミック電極8の上面以外の領域を覆うように、絶縁膜69が形成されている。この絶縁膜69は、上記第1実施形態の絶縁膜9と同様、約250nmの厚みを有するSiN膜からなる。

【0067】

ここで、第3実施形態では、図19および図20に示すように、絶縁膜69の所定領域上に、p側オーミック電極8の上面と接触するように、n型GaN基板1の幅よりも小さい幅B3（約120 μm ）を有するp側パッド電極71が形成されている。このp側パッド電極71の一方の端部71aは、図19に示すように、平面的に見て、矩形状に突出するように形成されている。そして、p側パッド電極71の矩形状に突出した一方の端部71aは、発光層64の一方の端部64hが位置する領域を越える領域にまで延びるように、SiN膜74の上面上に位置する絶縁膜69上に形成されている。その一方、p側パッド電極71の他方の端部71bは、発光層64の他方の端部64iが位置する領域を越えないように、p型クラッド層65の平坦部上に位置する絶縁膜69上に形成されている。また、p側パッド電極71は、上記第1実施形態のp側パッド電極11と同様、下層から上層に向かって、約100nmの厚みを有するTi層と、約100nmの厚みを有するPd層と、約3 μm の厚みを有するAu層とによって構成されている。なお、p側パッド電極71は、本発明の「パッド電極」の一例である。そして、p側パッド電極71の矩形状に突出した一方の端部71a上には、p側パッド電極71の一方の端部71aと外部とを電氣的に接続するためのワイヤ12がボンディングされている。

【0068】

また、n型GaN基板1の裏面の転位の集中している領域1a以外の領域上には、約300 μm の幅を有するn側電極73が形成されている。このn側電極73は、上記第1実施形態のn側電極13と同様、n型GaN基板1の裏面に近い方から順に、約10nmの厚みを有するAl層と、約20nmの厚みを有するPt層と、約300nmの厚みを有するAu層とによって構成されている。

【0069】

第3実施形態では、上記のように、n型クラッド層63上に形成される発光層64の幅D3（約10.5 μm ）をn型GaN基板1の幅よりも小さくするとともに、発光層64上に形成されるp型クラッド層65の幅を発光層64の幅と同じにすることによって、発光層64を介して形成されるn型クラッド層63とp型クラッド層65とのpn接合領域が小さくなるので、pn接合容量を小さくすることができる。また、絶縁膜69の所定領域上に形成されるp側パッド電極71の幅B3（約120 μm ）を、n型GaN基板1の幅よりも小さくすることによって、p側パッド電極71と、絶縁膜69およびSiN膜74と、n型GaN基板1とにより形成される寄生容量も小さくすることができる。特に、第3実施形態では、発光層64の一方の端部64hが位置する領域を越える領域にまで延びるように形成されたp側パッド電極71の一方の端部71aを、平面的に見て矩形状に突出するように形成しているので、平面的に見て四角形状に形成されたp側パッド電極の一方の端部を、発光層の一方の端部が位置する領域を越える領域にまで延びるように形成した第1および第2実施形態に比べて、p側パッド電極71の形成領域をより小さくすることができる。このため、第1および第2実施形態よりも寄生容量を小さくすることができる。その結果、窒化物系半導体レーザ素子60の応答速度をより高速化することができる。

【0070】

また、第3実施形態では、n型Ga_{0.8}N基板1の裏面の転位の集中している領域1a以外の領域上にn側電極73を形成することによって、n型Ga_{0.8}N基板1の裏面の転位の集中している領域1aとn側電極73とが接触しないので、転位の集中している領域1aに流れる電流をより抑制することができる。

【0071】

なお、第3実施形態のその他の効果は、上記第1実施形態と同様である。

【0072】

図22は、図19および図20に示した第3実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。次に、図5～図8、図10、図11、図15および図19～図22を参照して、第3実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスについて説明する。

【0073】

まず、図5～図8に示した第1実施形態と同様の製造プロセスを用いて、n型Ga_{0.8}N基板1を形成する。

【0074】

次に、第3実施形態では、図22に示すように、n型Ga_{0.8}N基板1の転位の集中している領域1a上に、約100nmの厚みを有するSiN膜74を、約10.5μmの間隔D3を隔てて形成する。この後、MOCVD法を用いて、SiN膜74を選択成長マスクとして、n型Ga_{0.8}N基板1上に、n型層62、n型クラッド層63、発光層64、p型クラッド層65およびp型コンタクト層66を順次成長させる。

【0075】

具体的には、基板温度を約1100℃の成長温度に保持した状態で、H₂およびN₂からなるキャリアガスと、NH₃およびTMGaからなる原料ガスと、SiH₄からなるドーパントガスとを用いて、n型Ga_{0.8}N基板1上に、約100nmの厚みを有するとともに、約 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のドーピング量を有するSiがドーパされたn型Ga_{0.8}Nからなるn型層62を成長させる。この後、原料ガスにTMAIをさらに加えて、n型層62上に、約400nmの厚みを有するとともに、約 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のドーピング量および約 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のキャリア濃度を有するSiがドーパされたn型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nからなるn型クラッド層63を成長させる。次に、n型クラッド層63上に、図21に示したような構造を有する発光層64を成長させる。

【0076】

具体的には、n型クラッド層63の形成に続いて、n型クラッド層63上に、約5nmの厚みを有するとともに、約 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のドーピング量および約 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のキャリア濃度を有するSiがドーパされたn型Al_{0.25}Ga_{0.75}Nからなるn型キャリアブロック層64a（図21参照）を成長させる。

【0077】

この後、基板温度を約800℃の成長温度に保持した状態で、H₂およびN₂からなるキャリアガスと、NH₃、TMGaおよびTMAIからなる原料ガスと、SiH₄からなるドーパントガスとを用いて、n型キャリアブロック層64a上に、約100nmの厚みを有するとともに、約 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のドーピング量および約 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のキャリア濃度を有するSiがドーパされたn型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nからなるn型光ガイド層64bを成長させる。

【0078】

次に、ドーパントガスを用いずに、n型光ガイド層64b上に、約20nmの厚みを有するアンドープAl_{0.2}Ga_{0.8}Nからなる4層の障壁層64cと、約3nmの厚みを有するアンドープAl_{0.05}In_{0.02}Ga_{0.93}Nからなる3層の井戸層64dとを交互に成長させることによりMQW活性層64eを形成する。なお、障壁層64cを成長させる際には、原料ガスとしてNH₃、TMGaおよびTMAIを用いるとともに、井戸層64dを成長させる際には、原料ガスとしてNH₃、TMGa、TMAIおよびTMInを用いる。

【0079】

次に、 Cp_2Mg からなるドーパントガスを用いて、MQW活性層64e（障壁層64c）上に、約100nmの厚みを有するとともに、約 $4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のドーピング量および約 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のキャリア濃度を有するMgがドーピングされたp型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nからなるp型光ガイド層64fを成長させる。この後、p型光ガイド層64f上に、約20nmの厚みを有するとともに、約 $4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のドーピング量および約 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のキャリア濃度を有するMgがドーピングされたp型Al_{0.25}Ga_{0.75}Nからなるp型キャップ層64gを成長させる。これにより、n型キャリアブロック層64a、n型光ガイド層64b、MQW活性層64e、p型光ガイド層64fおよびp型キャップ層64gからなる発光層64が形成される。

【0080】

次に、図22に示すように、基板温度を約1100℃の成長温度に保持した状態で、 H_2 および N_2 からなるキャリアガスと、 NH_3 、TMGaおよびTMAIからなる原料ガスと、 Cp_2Mg からなるドーパントガスとを用いて、発光層64上に、約400nmの厚みを有するとともに、約 $4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のドーピング量および約 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のキャリア濃度を有するMgがドーピングされたp型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nからなるp型クラッド層65を成長させる。この後、原料ガスを NH_3 およびTMGaに変えて、p型クラッド層65上に、約10nmの厚みを有するとともに、約 $4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のドーピング量および約 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のキャリア濃度を有するMgがドーピングされたp型GaNからなるp型コンタクト層66を成長させる。

【0081】

上記のように、n型GaN基板1上に、n型層62、n型クラッド層63、発光層64、p型クラッド層65およびp型コンタクト層66を成長させる際に、第3実施形態では、n型GaN基板1の転位の集中している領域1a上に形成されたSiN膜74を選択成長マスクとして用いるので、n型層62、n型クラッド層63、発光層64、p型クラッド層65およびp型コンタクト層66に、n型GaN基板1の転位が伝播するのを抑制することができる。また、約10.5μmの間隔D3を隔てて形成されたSiN膜74を選択成長マスクとして、n型GaN基板1上に、窒化物系半導体各層（62～66）を形成することによって、n型GaN基板1の幅よりも小さい幅D3（約10.5μm）を有する窒化物系半導体各層（62～66）を形成することができるので、n型GaN基板1の幅と同じ幅を有する窒化物系半導体各層を形成する場合に比べて、クラックが発生するのを抑制することができる。この場合、第3実施形態のように、窒化物系半導体各層（63～65）のAl組成比を高くしたとしても、窒化物系半導体各層（63～65）にクラックが発生するのを抑制することができる。また、大きい厚みを有する窒化物系半導体層を形成した場合においても、クラックが発生するのを抑制することができる。また、隣接するSiN膜74間の距離が約10.5μmの幅D3を有するように形成されているので、n型層62、n型クラッド層63、発光層64、p型クラッド層65およびp型コンタクト層66の幅が、それぞれ、n型GaN基板1の幅よりも小さい幅D3（約10.5μm）となる。

【0082】

次に、図10および図11に示した第1実施形態と同様の製造プロセスを用いて、図20に示したp型クラッド層65の凸部65bとp型コンタクト層66とによって構成されるリッジ部67を形成する。

【0083】

この後、第3実施形態では、図20に示したような形状を有するp側パッド電極71を形成する。p側パッド電極71の矩形状に突出した一方の端部71aは、発光層64の一方の端部64hが位置する領域を越える領域にまで延びるように形成する。また、p側パッド電極71の他方の端部71bは、発光層64の他方の端部64iが位置する領域を越えないように形成する。また、p側パッド電極71の幅は、n型GaN基板1の幅よりも小さい幅B3（約120μm）となるようにパターンニングする。

【0084】

次に、真空蒸着法を用いて、 n 型GaN基板1の裏面上の全面に、 n 側電極73を構成する金属層（図示せず）を形成した後、 n 型GaN基板1の裏面の転位の集中している領域1a上に位置する金属層を除去することによって、裏面電極73を形成する。

【0085】

最後に、第3実施形態では、図19および図20に示したように、 p 側パッド電極71の矩形状に突出した一方の端部71a上に、 p 側パッド電極71の一方の端部71aと外部とを電氣的に接続するためのワイヤ12をボンディングする。このようにして、第3実施形態による窒化物系半導体レーザ素子が形成される。

【0086】

なお、今回開示された実施形態は、すべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した実施形態の説明ではなく特許請求の範囲によって示され、さらに特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれる。

【0087】

たとえば、上記実施形態では、発光層と p 型クラッド層の平坦部とが同じ幅になるようにしたが、本発明はこれに限らず、 p 型クラッド層の平坦部の幅が発光層の幅よりも小さくてもよい。

【0088】

また、上記第1および第2実施形態では、 p 側パッド電極を、平面的に見て、四角形状になるように形成したが、本発明はこれに限らず、 p 側パッド電極の端部が、発光層の端部が位置する領域を超える領域にまで延びて形成されていれば、四角形状以外の平面形状を有する p 側パッド電極を形成してもよい。

【0089】

また、上記実施形態では、ウルツ鉱型構造の窒化物系半導体各層を形成するようにしたが、本発明はこれに限らず、閃亜鉛鉱型構造の窒化物系半導体各層を形成するようにしてもよい。

【0090】

また、上記実施形態では、MOCVD法を用いて、窒化物系半導体各層を結晶成長させるようにしたが、本発明はこれに限らず、HVPE法、および、TMAl、TMGa、TMIn、 NH_3 、 SiH_4 、 GeH_4 および Cp_2Mg などを原料ガスとして用いるガスソースMBE法（Molecular Beam Epitaxy：分子線エピタキシャル成長法）などを用いて、窒化物系半導体各層を結晶成長させるようにしてもよい。

【0091】

また、上記実施形態では、窒化物系半導体各層の表面が（0001）面になるように積層したが、本発明はこれに限らず、窒化物系半導体各層の表面が他の方向になるように積層してもよい。たとえば、窒化物系半導体各層の表面が（1-100）面や（11-20）面などの（H、K、-H-K、0）面になるように積層してもよい。この場合、MQW活性層内にピエゾ電場が発生しないので、井戸層のエネルギーバンドの傾きに起因する正孔と電子との再結合確率の低下を抑制することができる。その結果、MQW活性層の発光効率を向上させることができる。また、（1-100）面や（11-20）面から傾斜している基板を用いてもよい。

【0092】

また、上記実施形態では、活性層として多重量子井戸（MQW）構造の活性層を用いる例を示したが、本発明はこれに限らず、量子効果を有しない大きな厚みを有する単層または単一量子井戸構造の活性層であっても同様の効果を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0093】

【図1】本発明の第1実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の構造を示した平面図である。

【図 2】図 1 の 100-100 線に沿った断面図である。

【図 3】図 1 および図 2 に示した第 1 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の発光層の詳細を示した断面図である。

【図 4】図 1 および図 2 に示した第 1 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子を用いた半導体レーザの構造を示した斜視図である。

【図 5】図 1 および図 2 に示した第 1 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 6】図 1 および図 2 に示した第 1 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 7】図 1 および図 2 に示した第 1 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 8】図 1 および図 2 に示した第 1 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 9】図 1 および図 2 に示した第 1 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 10】図 1 および図 2 に示した第 1 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 11】図 1 および図 2 に示した第 1 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 12】図 1 および図 2 に示した第 1 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 13】図 1 および図 2 に示した第 1 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 14】図 1 および図 2 に示した第 1 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 15】図 1 および図 2 に示した第 1 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 16】図 1 および図 2 に示した第 1 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 17】本発明の第 2 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の構造を示した平面図である。

【図 18】図 17 の 200-200 線に沿った断面図である。

【図 19】本発明の第 3 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の構造を示した平面図である。

【図 20】図 19 の 300-300 線に沿った断面図である。

【図 21】図 19 および図 20 に示した第 3 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の発光層の詳細を示した断面図である。

【図 22】図 19 および図 20 に示した第 3 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【符号の説明】

【0094】

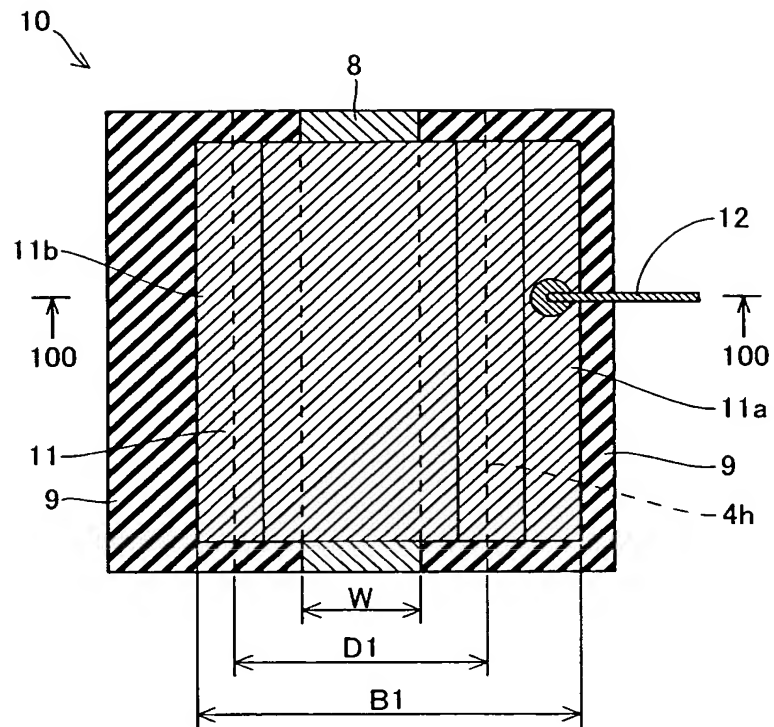
- 1 n 型 GaN 基板 (導電性基板)
- 3、43、63 n 型クラッド層 (第 1 窒化物系半導体層)
- 4e、64e MQW 活性層 (活性層)
- 4h、44h、64h 端部
- 5、45、65 p 型クラッド層 (第 2 窒化物系半導体層)
- 5a、45a、65a 平坦部
- 5b、45b、65b 凸部
- 8 p 側オーミック電極 (オーミック電極)
- 9、49、69 絶縁膜

1 1、5 1、7 1 p 側パッド電極 (パッド電極)

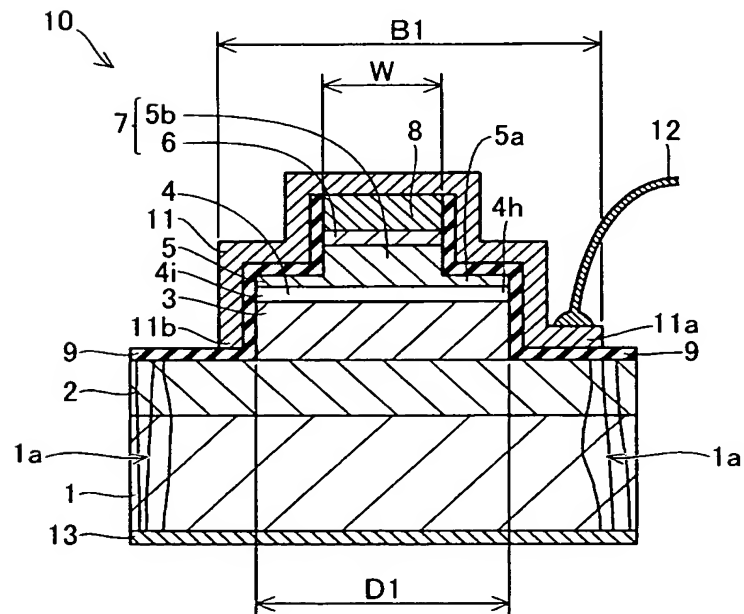
1 1 a、5 1 a、7 1 a 端部

【書類名】 図面

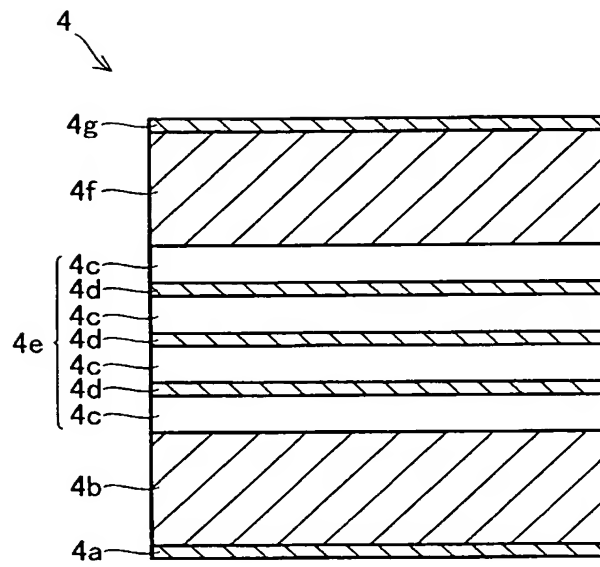
【図 1】



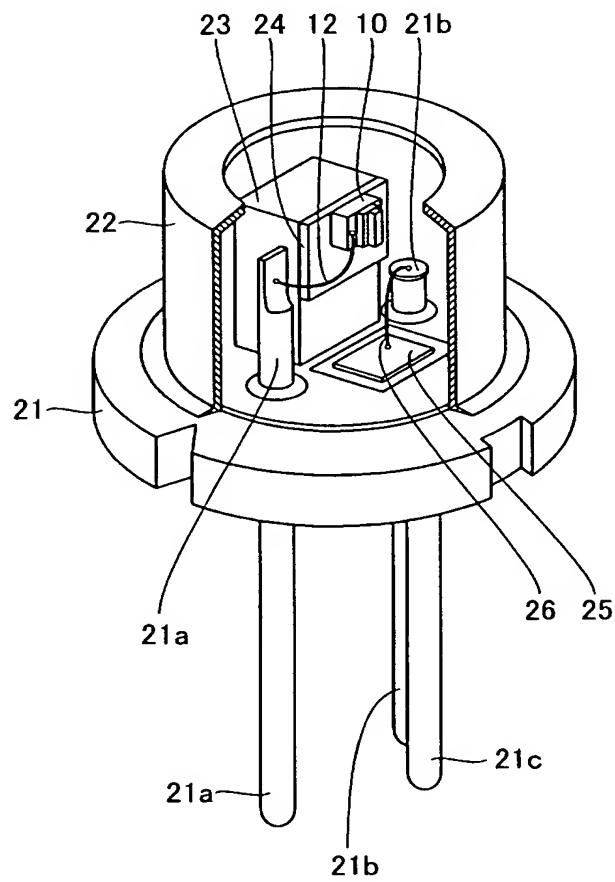
【図 2】



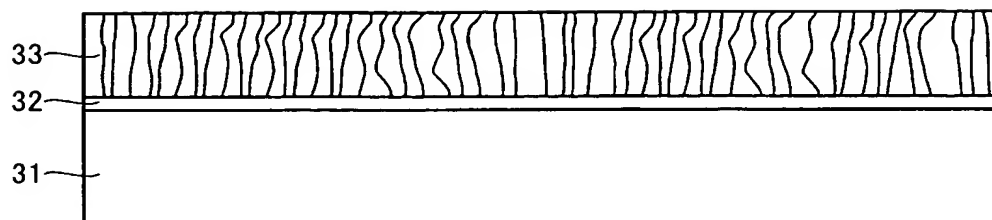
【図 3】



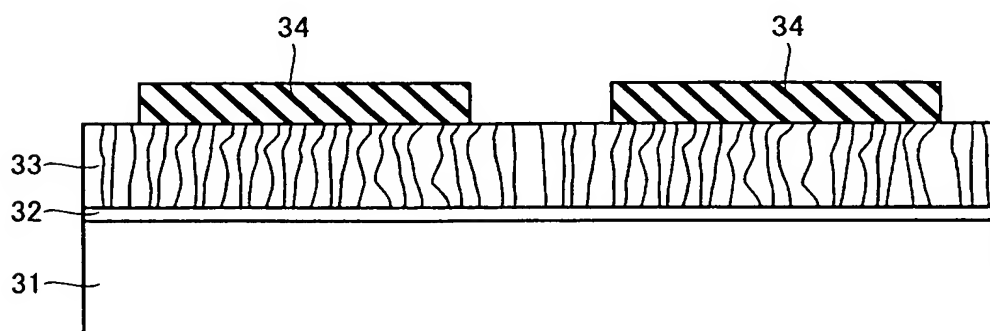
【図 4】



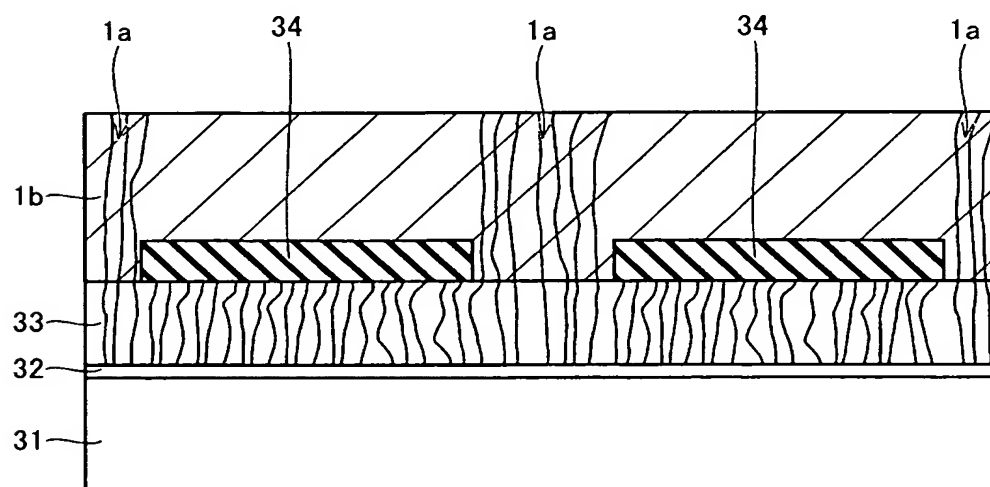
【図 5】



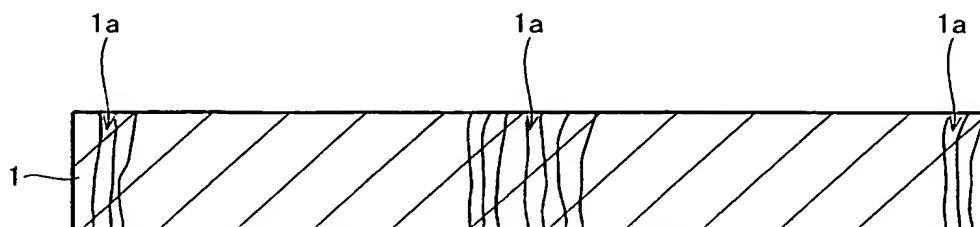
【図 6】



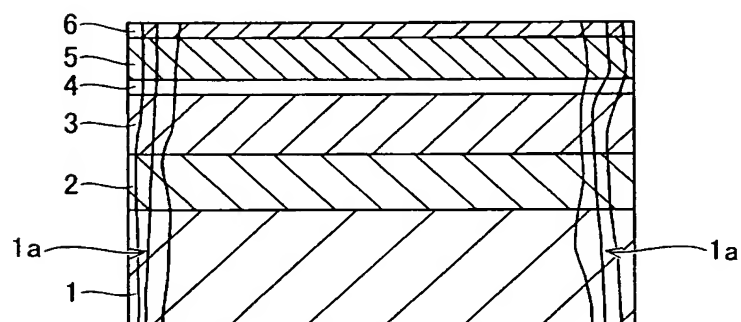
【図 7】



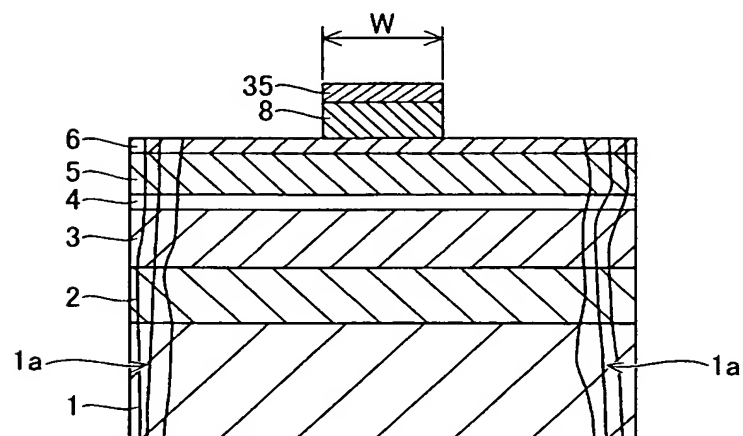
【図 8】



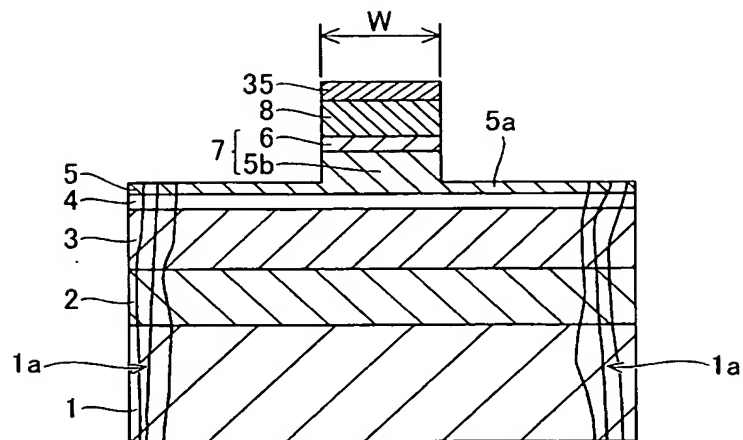
【図 9】



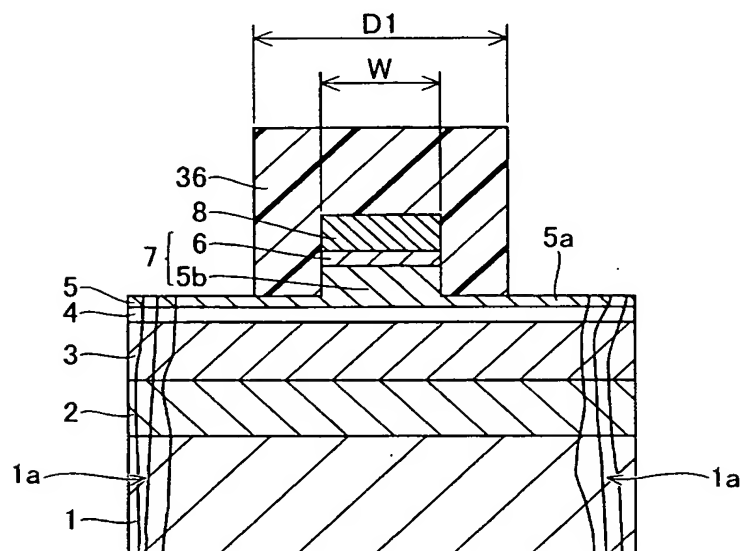
【図 10】



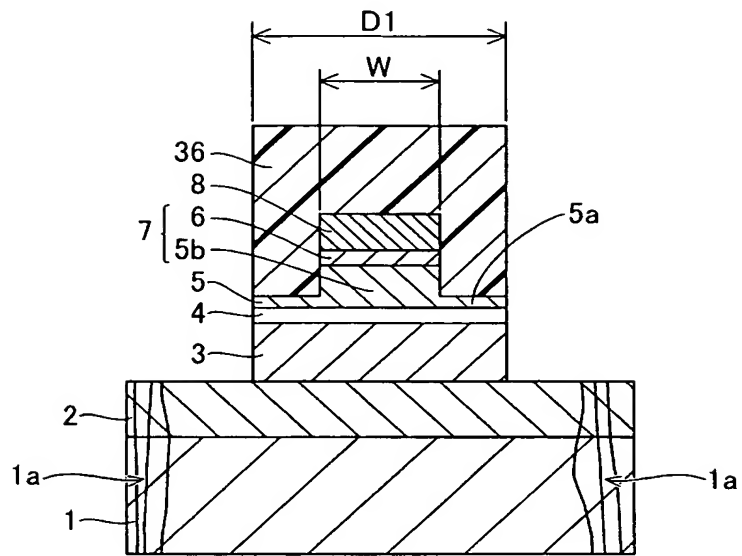
【図 11】



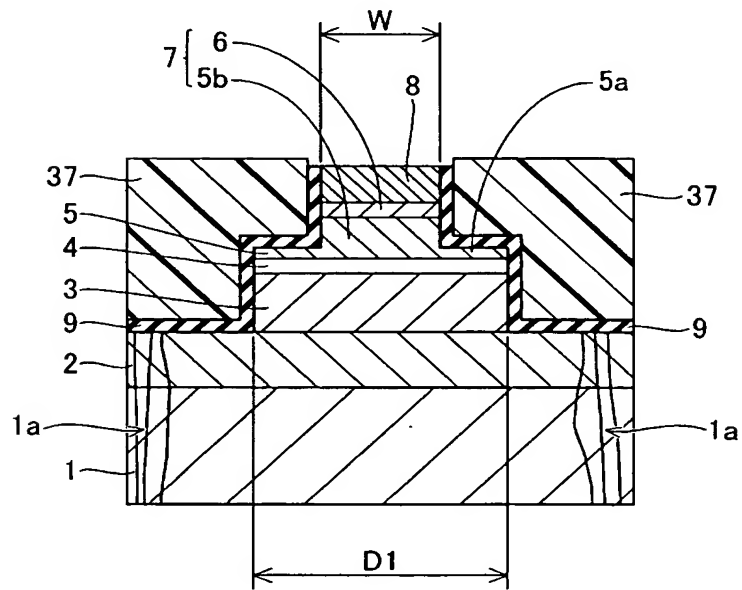
【図 12】



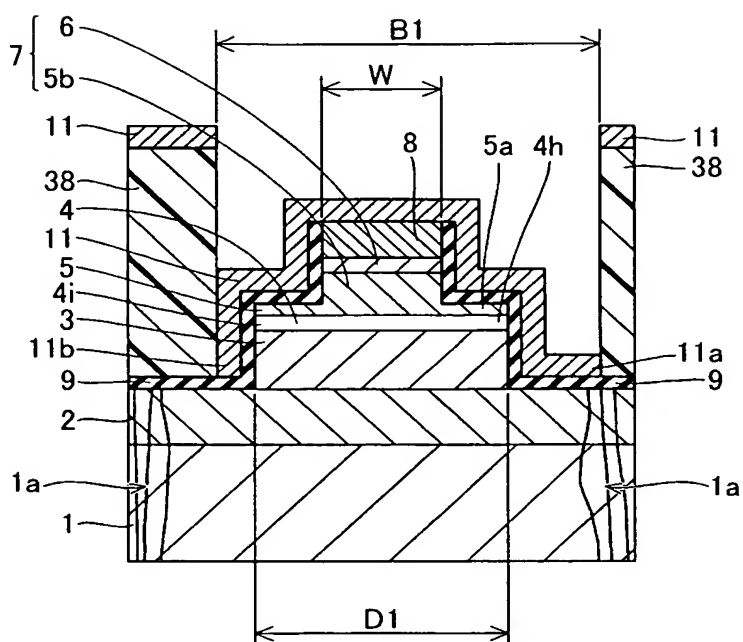
【図 13】



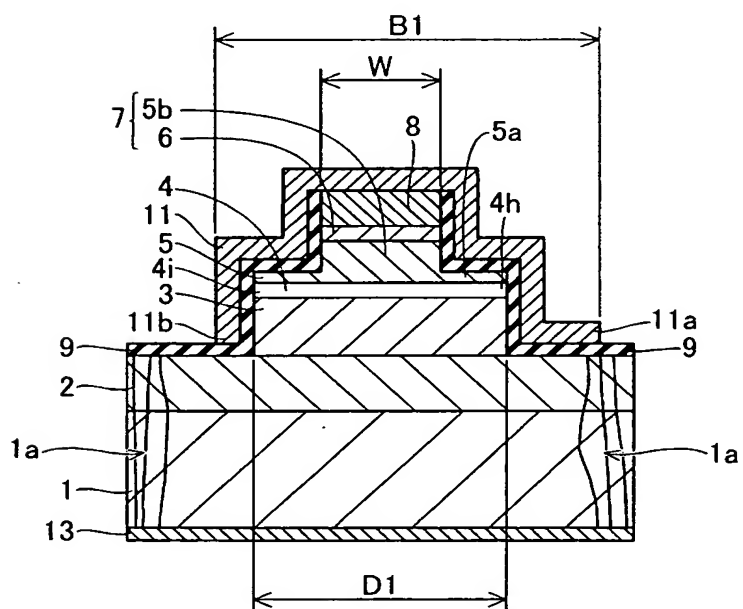
【図 14】



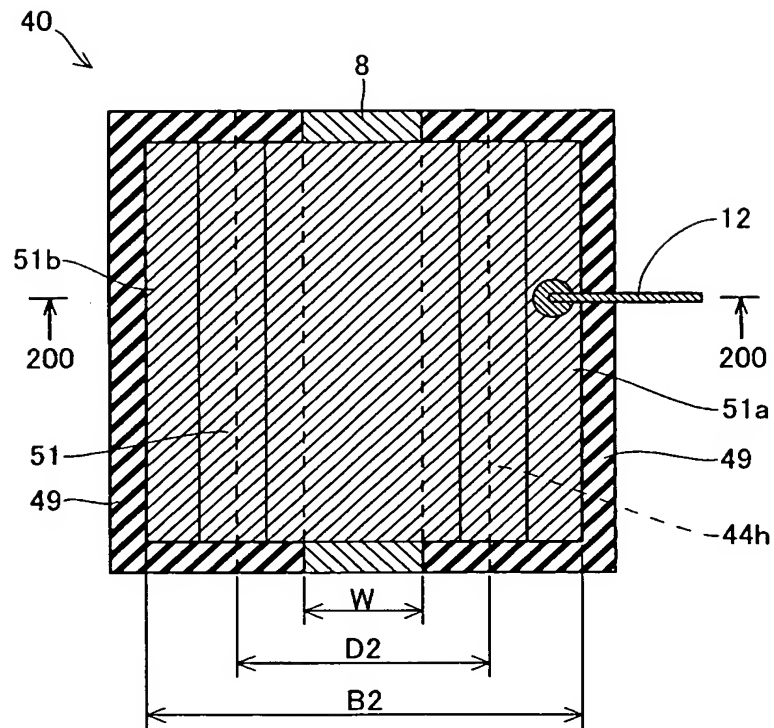
【図 15】



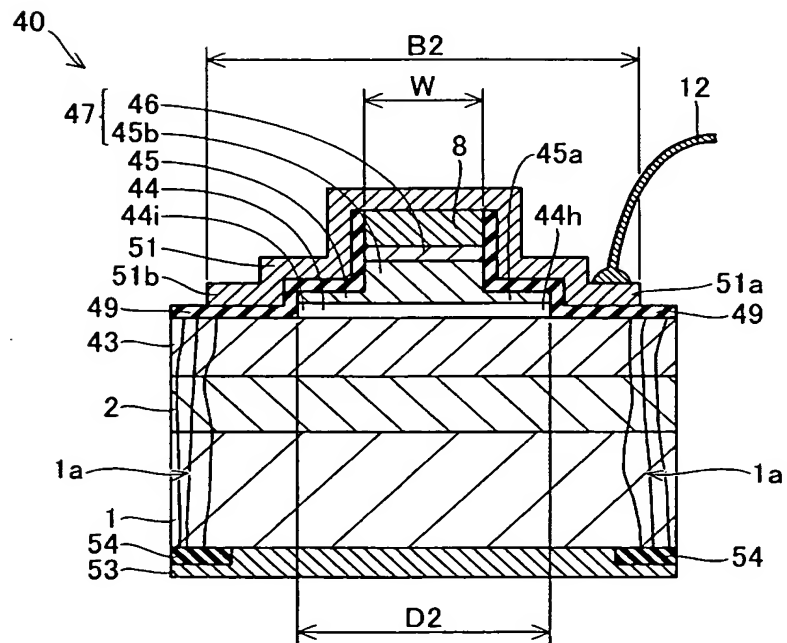
【図 16】



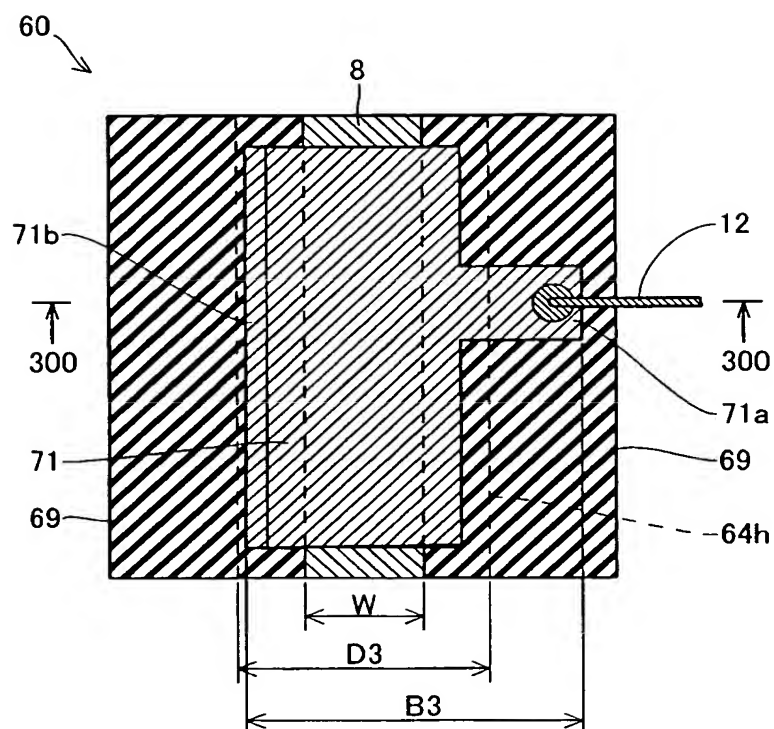
【図 17】



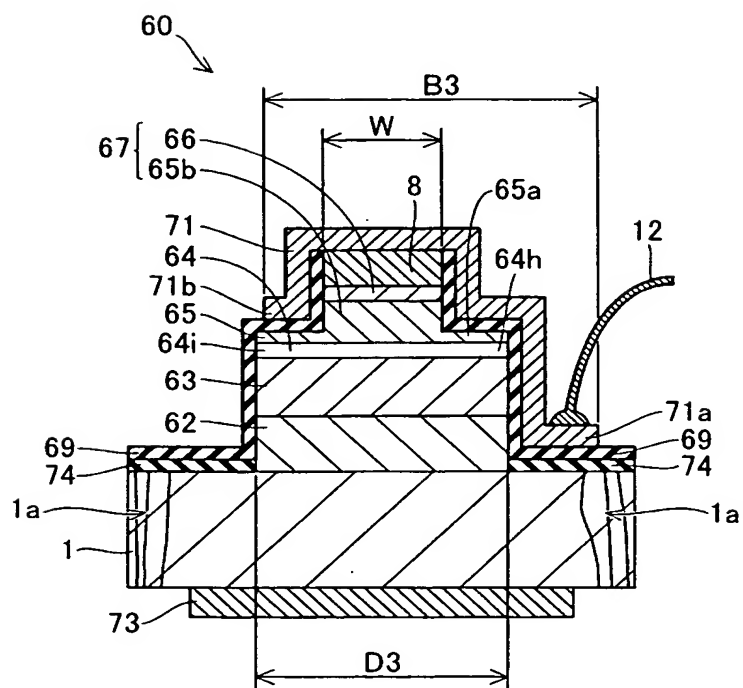
【図 18】



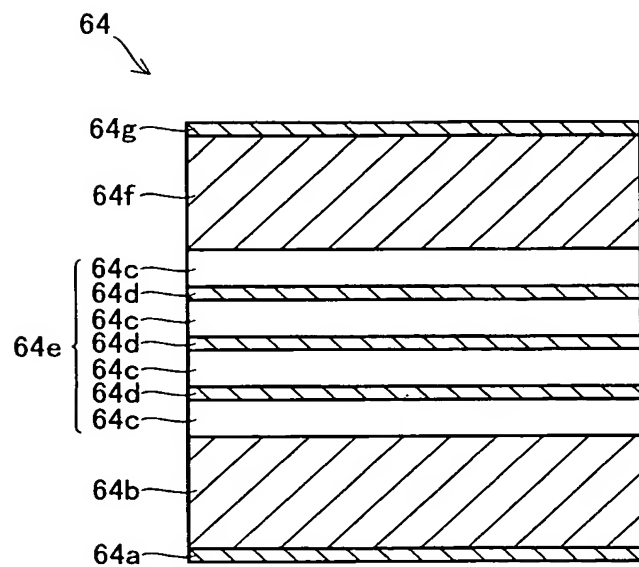
【図 19】



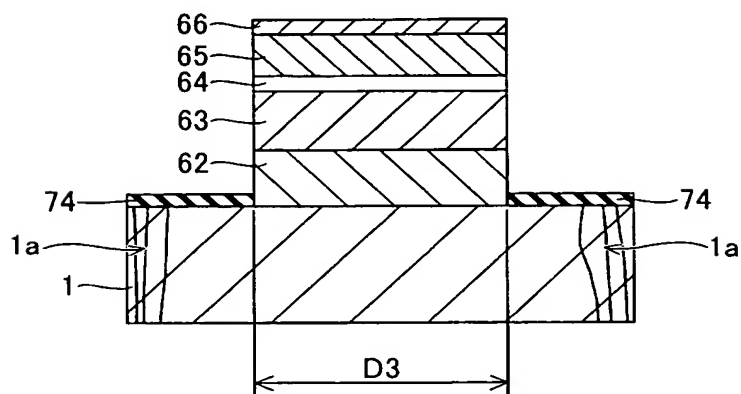
【図 20】



【図 21】



【図 22】



【書類名】 要約書**【要約】**

【課題】 応答速度を高速化することが可能な窒化物系半導体レーザ素子を提供する。

【解決手段】 この窒化物系半導体レーザ素子 1 0 は、 n 型 G a N 基板 1 上に形成された n 型クラッド層 3 と、 n 型クラッド層 3 上に形成され、 n 型 G a N 基板 1 の幅よりも小さい幅 D 1 を有する発光層 4 と、発光層 4 上に形成され、幅 D 1 を有する平坦部 5 a と、平坦部 5 a から突出するように形成された発光層 4 の幅 D 1 よりも小さい幅 W を有する凸部 5 b とを含む p 型クラッド層 5 と、 p 型クラッド層 5 の凸部 5 b 上に形成された p 側オーミック電極 8 と、 p 側オーミック電極 8 の上面以外の領域を覆うように形成された絶縁膜 9 と、絶縁膜 9 の一部上に形成され、 n 型 G a N 基板 1 の幅よりも小さい幅 B 1 を有するとともに、発光層 4 の端部 4 h が位置する領域を越える領域にまで延びて形成された端部 1 1 a を有する p 側パッド電極 1 1 とを備えている。

【選択図】 図 2

特願 2 0 0 3 - 3 3 9 4 2 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 1 8 8 9]

1 . 変更年月日

1 9 9 3 年 1 0 月 2 0 日

[変更理由]

住所変更

住 所

大阪府守口市京阪本通 2 丁目 5 番 5 号

氏 名

三洋電機株式会社